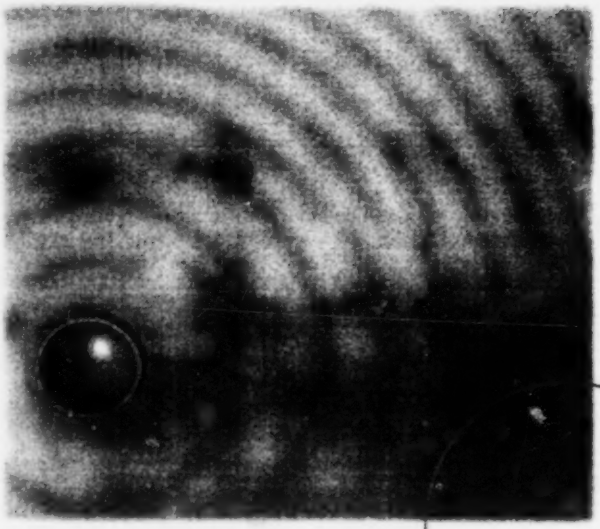
Environnement Canada Environment Canada

Canada



ESEE

Études de suivi des effets sur l'environnement

Sommaire du rapport

Évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers

103-06174/

ESEE

Sommaire du rapport

Évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers

Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE ; no 2

Environnement Canada Environment Canada

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE SUR LES EAUX
NATIONAL WATER RESEARCH INSTITUTE

© Ministère des travaux publics et services gouvernementaux Canada 2003

Pour obtenir des exemplaires additionnels :

Direction de la surveillance de la qualité de l'eau
Bureau national des études de suivi des effets sur l'environnement
Institut national de la recherche sur les eaux
Environnement Canada
351, boul. Saint-Joseph, 8ème étage
Hull (Québec)
K1A 0H3

ou

Direction de la liaison scientifique
Institut national de la recherche sur les eaux
Environnement Canada
867, chemin Lakeshore
C.P. 5050
Burlington (Ontario)
L7R 4A6

Ou télécharger une copie à partir du site web de INRE : *http://www.nwri.ca*

Données de catalogage avant publication de la Bibliothèque nationale du Canada

Vedette principale au titre :

Évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes est papiers : Sommaire du rapport

(Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE ; no 2)

Publication aussi en anglais sous le titre : ***National assessment of pulp and paper environmental effects monitoring data***

ISBN 0-662-33845-6
Cat. no. En40-237/2-2003E

1. Pâte et papier – Industrie – Déchets – Élimination – Aspect de l'environnement – Canada.
2. Eaux usées – Qualité – Canada.
3. Poissons – Effets de la pollution de l'eau sur les – Canada.
4. Faune benthique – Effets de la pollution de l'eau sur les – Canada.
I. Institut national de recherche sur les eaux (Canada). Bureau national des études de suivi des effets sur l'environnement.

TD195.P37N37 2003 676'.042'0971 C2003-980123-3

Référence correcte :

Environnement Canada. 2003. Évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes est papiers : Sommaire du rapport. Institut national de la recherche sur les eaux, Ontario. Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE ; no 2. 32p.

Imprimé sur papier recyclé
30% Post-consumer fiber

Table des matières

Sommaire i

Introduction 1

Aperçu historique des effluents des fabriques de pâtes et papiers 4

Évaluation nationale des données des ESEE 6

Étude de la communauté d'invertébrés benthiques 6

Analyse des données de l'étude de la communauté d'invertébrés benthiques 7

Tendances nationales 8

Étude des populations de poissons 15

Analyse des données de l'étude des populations de poissons 16

Tendances nationales 16

Schéma général des réponses pour les communautés d'invertébrés benthiques et les populations de poissons à l'échelle nationale 21

Toxicité sublétale 22

Conclusions générales 23

Glossaire 25

Références 29

Sommaire

Le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* (REFPP) exige des fabriques de pâtes et papiers du Canada qu'elles réalisent des études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) portant sur leur milieu récepteur afin d'évaluer et de surveiller tout effet possible de leurs effluents sur le poisson, l'habitat du poisson et l'utilisation des ressources halieutiques. Le programme d'ESEE est surtout axé sur la réalisation d'études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons, mais au besoin, des renseignements connexes sur la toxicité sublétale des effluents, la qualité de l'eau, des sédiments et des tissus des poissons ainsi que sur l'altération de ces derniers sont aussi recueillis.

Le présent document résume les principales conclusions d'un rapport technique plus détaillé intitulé *Évaluation nationale des données de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers*.

Aux fins de la présente évaluation nationale, les données des études des communautés d'invertébrés benthiques ont été analysées en fonction du plan d'étude, du type d'habitat, du type de traitement des effluents et du type de procédé utilisé par les fabriques. À l'échelle nationale, les études des communautés d'invertébrés benthiques ont généralement montré des effets révélant une tendance à l'eutrophisation, notamment dans les cours d'eau, résultant de l'exposition aux effluents des fabriques de pâtes et papiers qui s'expliquait sans doute par la teneur en éléments nutritifs et en matières organiques des effluents. L'eutrophisation est une « surfertilisation » de l'eau qui peut perturber le fonctionnement normal de l'écosystème, donner lieu à la production de bactéries et d'algues nocives et réduire la valeur esthétique d'une zone. Cette réponse était généralement légère ou modérée, mais dans le cas de quelques fabriques l'eutrophisation était plus prononcée. Le schéma de réponse observé pour les habitats marins-estuariens indique en général l'existence d'effets toxiques ou d'étouffement, et la réponse notée pour les lacs se situait entre celles des cours d'eau et des milieux marins-estuariens. Pour ce qui est de l'ampleur des effets mesurés, de 20 à 40 % des fabriques ont décelé des effets plus importants que deux écarts-types.

Les données des études des populations de poissons ont été analysées afin de déterminer l'ampleur des effets en fonction du sexe et de l'espèce des poissons, du type de procédé de la fabrique, du type de traitement des effluents et de l'habitat. Les principales tendances des réponses observées chez les poissons à la grandeur du pays

étaient une diminution du poids des gonades et une augmentation du poids du foie, du coefficient de condition et du poids selon l'âge. On croit que ces réponses indiquent une certaine forme de perturbation métabolique ou d'affaiblissement de la fonction endocrinienne combinée aux effets d'un enrichissement en éléments nutritifs du milieu. Les réductions de la taille des gonades peuvent donner lieu à une insuffisance de la capacité de reproduction et, en fin de compte, à une perte d'espèces de poissons. Pour ce qui est de l'ampleur des effets mesurés, dans le cas de 20 % des fabriques, le poids des gonades et du foie avait augmenté de plus de 20 à 30 % et le coefficient de condition de plus de 10 %.

Les résultats des études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons ont été quantitativement intégrés afin de mieux dégager les schémas de réponse à l'échelle nationale. Il y avait bonne concordance entre les résultats des deux études. La réponse perturbation métabolique-enrichissement en éléments nutritifs notée chez les poissons présentait une relation étroite avec l'eutrophisation décelée chez le benthos. Les résultats montraient aussi que l'effet général d'enrichissement en éléments nutritifs des poissons (sans perturbation mesurable du métabolisme) pouvait ne pas être décelé avant que le benthos ne subisse les effets d'une eutrophisation prononcée. Dans des conditions où l'eutrophisation était moins prononcée, les résultats obtenus pour les poissons montraient l'existence d'effets de perturbation métabolique même lorsque l'effet général sur les invertébrés en était simplement un d'eutrophisation. Par conséquent, les deux éléments principaux d'ESEE sur le terrain se complètent mutuellement en révélant des aspects différents des effets associés à une exposition aux effluents.

Les données de toxicité sublétale ont montré qu'il y a eu amélioration à l'échelle nationale de la qualité des effluents des fabriques canadiennes de pâtes et papiers entre la réalisation des cycles 1 et 2. Cette baisse de la toxicité des effluents entre les deux cycles a été attribuée à la mise en place de systèmes de traitement secondaire dans les fabriques du pays.

En général, les fabriques de pâtes et papiers n'empêchent pas les Canadiens d'utiliser le poisson. Dans le premier des deux cas étudiés, il a été confirmé que l'effluent des fabriques de pâtes et papiers contribuait à altérer le poisson, et dans le deuxième, on a soupçonné que tel était le cas. Il existe des cas isolés où les fabriques peuvent faire augmenter les concentrations de dioxines et de furannes dans le tissu des poissons.

Environnement Canada continuera de travailler avec ces fabriques suivant les particularités de chacun des sites.

En résumé, la qualité des effluents s'est fortement améliorée depuis la promulgation du REFPP, mais l'on décèle toujours des effets sur le poisson et l'habitat du poisson. Il faut poursuivre les études de suivi pour évaluer l'importance écologique des effets observés et Environnement Canada continuera de collaborer avec l'industrie et d'autres intervenants afin de mieux en comprendre la portée.

Introduction

En 1992, le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* (REFPP) pris en application de la *Loi sur les pêches* a remplacé un règlement de 1971 sur les pâtes et papiers. Il a fixé des limites de rejet pour les matières totales en suspension (MTS) et la demande biochimique en oxygène (DBO) en plus d'exiger que tous les effluents non dilués ne présentent pas de létalité aiguë pour la truite arc-en-ciel. Pour que le REFPP soit respecté, il a fallu que les fabriques modifient considérablement le traitement de leurs effluents, ce qui, dans la plupart des cas, a donné lieu à l'installation d'un traitement secondaire (biologique). Ces limites plus sévères pour les rejets allaient permettre de mieux protéger l'environnement, mais l'on savait que ces seules mesures pourraient ne pas suffire à protéger adéquatement l'environnement aquatique dans tous les sites. Par conséquent, le règlement de 1992 prévoyait l'obligation de réaliser un programme d'études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE).

Le programme national d'ESEE exige des fabriques de pâtes et papiers du Canada qu'elles réalisent des études sur le milieu récepteur afin d'évaluer et de surveiller des effets possibles de leurs effluents. Les ESEE sont spécifiques aux sites et supposent la réalisation d'évaluations répétées des effets possibles des effluents sur le poisson, l'habitat du poisson et l'utilisation des ressources halieutiques. La structure du programme prévoit la réalisation d'étapes de suivi et d'interprétation de trois ans appelées « cycles ». Au début de chaque cycle, la fabrique doit élaborer un programme de suivi propre à son site en collaboration avec les fonctionnaires régionaux d'Environnement Canada et doit, à la fin de chaque cycle, présenter des rapports d'interprétation résumant les travaux réalisés sur le terrain et interprétant les résultats obtenus. La structure du programme d'ESEE garantit un certain niveau d'uniformité nationale en ce qui a trait à la façon dont les fabriques font le suivi des effets de leurs effluents sur l'environnement.

Le programme d'ESEE prévoit une évaluation à long terme des incidences des effluents sur l'environnement aquatique qui suppose un minimum de plusieurs cycles (15–20 années) pour évaluer l'état de l'environnement récepteur et bien comprendre l'importance de tout effet. Le programme permet aussi d'obtenir des réponses quantitatives et qualitatives à des questions claires et bien définies en comparant des paramètres mesurés sur des organismes et des populations exposées à un effluent à ceux mesurés dans les zones de référence (Hodson *et al.*, 1996). Il fait appel à une démarche par étapes pour le suivi qui comprend la réalisation d'études préliminaires pour la

caractérisation et l'évaluation de l'état de l'environnement récepteur qui sont suivies d'études ciblées une fois que des effets ont été décelés ou par un suivi réduit si aucun effet n'est décelé. Cette structure permet de minimiser les coûts tout en assurant la fiabilité scientifique et la souplesse du programme.

Une ESEE comporte les éléments suivants :

- une étude de la population de poissons afin de déterminer la santé du poisson;
- une étude de la communauté d'invertébrés benthiques afin d'évaluer l'habitat du poisson;
- une étude des dioxines et des furannes présents dans les tissus des poissons comestibles et une étude de leur altération à titre d'étude du potentiel d'utilisation des ressources halieutiques;
- une évaluation de la toxicité sublétale visant à déterminer la qualité des effluents;
- la mesure de variables d'appui de la qualité de l'eau et des sédiments afin de faciliter l'interprétation des données biologiques.

Les études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons font appel à un ensemble choisi de mesures terminales des « effets » qui servent d'abord de base aux suivis subséquents, mais qui permettent aussi de mieux comprendre la nature réelle des incidences locales des rejets d'effluents des fabriques de pâtes et papiers. Dans le contexte des ESEE, un « effet » est une différence significative du point de vue statistique pour au moins une des mesures terminales choisies après comparaison des échantillons biologiques prélevés à proximité d'une fabrique (zone exposée) avec d'autres échantillons prélevés dans une zone de référence. La zone de référence est une zone de prélèvement dont les caractéristiques ressemblent le plus possible à celles de la zone exposée (p. ex., habitat, qualité de l'eau, caractéristiques hydrologiques), mais où sont absents les effluents de la fabrique. Au contraire des données obtenues sur le terrain, les variables d'appui et les données de toxicité sublétale ne sont pas utilisées pour déterminer l'existence « d'effets » environnementaux au site de la fabrique. Elles servent plutôt à obtenir de l'information supplémentaire sur des paramètres pouvant influer ou non sur des effets observés.

Les mesures terminales des ESEE utilisées pour les études de la communauté d'invertébrés benthiques et de la population de poissons sont les suivantes :

Mesures terminales de l'étude de la communauté d'invertébrés benthiques :
Abondance totale
Richesse taxonomique
Indice de dissimilitude de Bray-Curtis
Diversité (ou régularité) de Simpson

Mesures terminales de l'étude de la population de poissons :
Poids des gonades
Coefficient de condition
Poids du foie
Poids selon l'âge
Âge

Le présent document résume les principales conclusions d'un rapport technique plus détaillé intitulé *Évaluation nationale des données de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers* (Lowell *et al.*, 2003). L'évaluation nationale des données du programme d'ESEE a comme objectif premier d'évaluer le type et l'ampleur des effets sur les populations de poissons et les communautés d'invertébrés benthiques exposées aux effluents des fabriques de pâtes et papiers au Canada. L'évaluation a été effectuée selon un ensemble de questions fondamentales ou de secteurs d'intérêt prioritaire définis par les scientifiques d'Environnement Canada. Ces questions étaient essentielles à la détermination de l'efficacité des ESEE pour l'évaluation des effets des effluents des fabriques de pâtes et papiers sur les environnements aquatiques et l'obtention des renseignements nécessaires à la compréhension de l'importance écologique de ces effets.

En plus des secteurs prioritaires déterminés, une analyse des données de toxicité sublétale a été effectuée afin d'évaluer les variations globales de la toxicité des effluents avant et après la mise en oeuvre d'un traitement secondaire dans la plupart des fabriques. D'autres éléments du programme national d'ESEE (dioxines et furannes dans les tissus des poissons comestibles et altération de ces tissus) n'ont pas fait l'objet de l'analyse étant donné le petit nombre de fabriques qui étaient tenues d'effectuer de telles études.

Aperçu historique des effluents des fabriques de pâtes et papiers

Les produits de pâtes et papiers sont fabriqués à partir de trois principaux types de fibres : le bois, les fibres recyclées, et les fibres non ligneuses (comme le coton, le chanvre, etc.), mais la majorité de ces produits de pâtes et papiers sont obtenus à partir de fibres de bois. La pâte kraft est utilisée pour les produits comme le papier à lettres, les sacs en papier et le carton. Le procédé à la soude et au sulfite compte parmi les processus de fabrication de la pâte qui font essentiellement appel à des procédés chimiques. Le processus de fabrication de la pâte mécanique, qui comporte le déchiquetage ou le défibrage de copeaux de bois et qui donne des rendements élevés en pâte, est généralement utilisé pour le papier journal ou le papier de catalogues (Biermann, 1996). Enfin, il y a la fabrication de la pâte mi-chimique qui combine les méthodes chimiques et mécaniques (USEPA, 1998) et qui sert surtout à la fabrication du carton ondulé.

Le traitement des effluents comporte les niveaux primaire, secondaire et, dans certains cas, tertiaire. Le traitement primaire, par lequel les matières solides sont retirées de l'eau par sédimentation, était largement répandu dans les années 1950 (Biermann, 1996). Aujourd'hui, la plupart des fabriques effectuent au moins un traitement secondaire, en plus du primaire, qui consiste à faire réagir les effluents avec l'oxygène et des microorganismes afin d'en retirer les matières qui consomment l'oxygène et d'en réduire la toxicité de façon appréciable (Biermann, 1996). Les procédés de traitement secondaire les plus couramment utilisés au Canada sont les bassins de stabilisation aérés et le traitement par boues activées. Les procédés de traitement tertiaire, qui sont les plus avancés, sont utilisés après le traitement secondaire et servent souvent à la décoloration (Biermann, 1996).

À cause de sa diversité, l'industrie des pâtes et papiers peut rejeter une large gamme de composés dans l'environnement aquatique. Les recherches réalisées sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers ont porté sur les fibres et les matières en suspension, la couleur et la turbidité et les charges d'enrichissement en matières organiques et en éléments nutritifs, soit les trois facteurs classiques de pollution ayant des effets nocifs sur l'environnement (Owens, 1991). Plus précisément, la DBO, les MTS et la toxicité aiguë comptaient parmi les principaux paramètres jugés préoccupants. Les dioxines et les furannes, qui persistent longtemps dans l'environnement, présentent une forte affinité pour les sédiments et sont susceptibles de bioaccumulation, étaient aussi source de

préoccupation pour les collectivités en aval des fabriques, surtout celles où la consommation de poissons était élevée.

En 1992, le gouvernement fédéral a adopté le cadre de réglementation des pâtes et papiers, qui comprenait le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* (REFPP), pris en vertu de la *Loi sur les pêches*, et deux règlements d'application de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Le REFPP révoquait et remplaçait un règlement antérieur adopté en 1971. L'une des principales lacunes du règlement de 1971 consistait dans le fait qu'il était juridiquement contraignant seulement pour les nouvelles fabriques construites après sa date de promulgation, soit le 2 novembre 1971. Le nouveau règlement visait à assurer que toutes les fabriques soient assujetties aux exigences réglementaires. Le REFPP fixe des limites de rejet pour la DBO et les MTS, et il interdit le rejet d'effluents comportant une létalité aiguë pour la truite arc-en-ciel. Les règlements d'application de la LCPE visent à assurer que des dioxines et des furannes chlorés ne se forment pas pendant le blanchiment de la pâte. Le *Règlement sur les dioxines et les furannes chlorés dans les effluents des fabriques de pâtes et papiers* interdit le rejet de concentrations mesurables de 2,3,7,8-tétrachlorobenzodioxine et furanne dans les effluents des fabriques qui utilisent du chlore ou du dioxyde de chlore pour blanchir la pâte. Le *Règlement sur les additifs antimousse et les copeaux de bois utilisés dans les fabriques de pâtes et papiers* impose des exigences pour la qualité des additifs antimousse utilisés dans les procédés de blanchiment au chlore et interdit la fabrication de pâte à partir de copeaux de bois traités avec des phénols polychlorés (OCDE, 1999).

On a reconnu que ces mesures à elles seules n'assureraient peut-être pas la protection convenable de l'écosystème aquatique partout. C'est pourquoi le REFPP exige la réalisation d'un programme d'ESEE afin de fournir un aperçu de l'état des milieux récepteurs au voisinage des fabriques de pâtes et papiers partout au Canada, de démontrer si les importantes améliorations de la qualité des effluents résultant de l'application de meilleurs procédés de traitement sont corrélées ou non par des améliorations semblables du milieu récepteur, et d'évaluer les effets à long terme des effluents des fabriques de pâtes et papiers sur les écosystèmes aquatiques canadiens.

La mise en oeuvre de cette nouvelle réglementation et les pressions de plus en plus fortes exercées sur l'environnement ont donné lieu à un développement plus poussé des procédés de traitement de l'industrie qui s'est traduit par une amélioration importante de la composition chimique et par une baisse de la toxicité des

effluents finaux et par une réduction appréciable de la menace potentielle pour l'environnement (Bothwell, 1992; Servos *et al.*, 1996; Dubé et McLatchy, 2000). Vers la fin des années 1990, certaines études commençaient à faire état de signes précurseurs de rétablissement de la reproduction du poisson à plusieurs fabriques qui avaient modernisé leurs procédés (Munkittrick *et al.*, 1997). L'amélioration du traitement des effluents des fabriques de pâtes a aussi donné lieu à une réduction appréciable de l'incidence des effets toxiques et des effets d'eutrophisation avancée sur les communautés d'invertébrés benthiques (Lowell *et al.*, 1996, 2000; Felder *et al.*, 1998; Chambers *et al.*, 2000; Culp *et al.* 2000a,b; Lowell et Culp, 2002).

En dépit de toutes ces améliorations, il y a encore des inquiétudes quant aux incidences à long terme des effluents sur l'environnement aquatique. La composition chimique de chacun des effluents varie de façon très marquée, ce qui rend difficile l'évaluation de leurs effets sur l'environnement. De plus, la complexité et la variabilité naturelle des systèmes biologiques compliquent l'obtention de réponses définitives en ce qui a trait aux incidences des effluents sur l'environnement (Kovacs *et al.*, 1995). Cependant, les principes qui guident le programme d'ESEE, fondé sur une conception propre à chaque site et l'application de méthodes standardisées, ont clairement montré que l'on pouvait acquérir des connaissances sur les effets des effluents sur l'environnement. Cette évaluation nationale permet d'obtenir, pour la première fois, des réponses à des questions touchant les effets des effluents en se fondant sur des données scientifiques recueillies dans une grande étendue géographique.

Évaluation nationale des données des ESEE

Étude de la communauté d'invertébrés benthiques

L'étude de la communauté d'invertébrés benthiques permet d'évaluer les ressources alimentaires aquatiques disponibles pour les poissons de même que le degré de dégradation de l'habitat. Les effets observés qui ont été choisis pour cette étude indiquent les changements qui se produisent dans la biodiversité. Au cours des cycles 1 et 2 du programme national d'ESEE, la plupart des fabriques ont signalé l'existence de différences statistiques significatives entre la structure de la communauté d'invertébrés benthiques des zones exposées et celle des zones de référence. Certaines de ces différences pouvaient s'expliquer par l'influence confondante de facteurs externes aux fabriques, même si des améliorations avaient été apportées au plan de l'étude après le cycle 1 afin d'éliminer ces facteurs. Au cours du cycle 2, les fabriques de tout le pays ont

signalé une amélioration générale de la condition des communautés d'invertébrés benthiques des zones exposées. Dans bon nombre de cas, l'amélioration des conditions s'expliquait par un meilleur traitement des effluents, particulièrement à la suite de la mise en place d'un procédé de traitement secondaire, qui donnait lieu à des réductions appréciables de la toxicité sublétale des effluents. Quelques fabriques ont signalé une détérioration de la condition de la communauté benthique, mais, dans la plupart des cas, cela était attribuable à la modification de facteurs indépendants des fabriques.

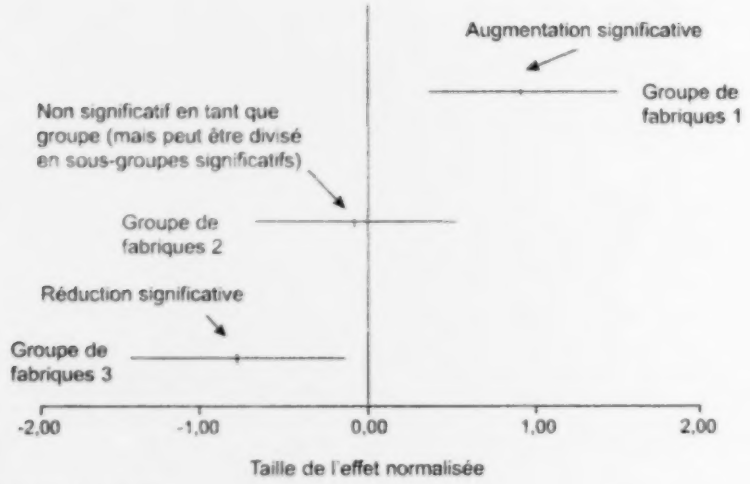
Analyse des données des étude des communautés d'invertébrés benthiques

L'étude de la communauté d'invertébrés benthiques est l'un des deux éléments fondamentaux du programme d'ESEE. Deux principaux plans d'étude des invertébrés benthiques ont été utilisés pour le cycle 2 : 62 contrôle-impact et 21 gradient. Le plan contrôle-impact suppose l'utilisation d'un ou de plusieurs groupes distincts de stations d'échantillonnage exposées aux effluents des fabriques (normalement en aval des fabriques) et d'un autre groupe de stations non exposées (habituellement situées en amont). Le plan par gradient comporte l'utilisation de stations d'échantillonnage réparties de façon plus ou moins continue selon un gradient de zones allant des plus au moins exposées, c'est-à-dire de zones situées à proximité du point de rejet de l'effluent vers des zones plus éloignées, où l'effluent est beaucoup plus dilué (pour des précisions, voir Environnement Canada, 2002; Glozier *et al.*, 2002; Lowell *et al.*, 2002).

L'évaluation nationale des données d'ESEE a été réalisée, du moins en partie, par des comparaisons statistiques des valeurs de mesures terminales des communautés d'invertébrés benthiques de zones exposées et de zones de référence qui ont été obtenues selon le plan contrôle-impact. L'analyse des données du plan par gradient a été effectuée par régression des valeurs des mesures terminales par rapport à la distance au point de rejet. Les résultats des analyses fondées sur le plan contrôle-impact et le plan par gradient ont ensuite été intégrés à l'aide d'une procédure analytique statistique détaillée, la méta-analyse, qui facilite la synthèse d'un grand nombre d'études indépendantes (Gurevitch et Hedges, 1993; Rosenberg *et al.*, 2000). La méta-analyse a fourni un indice quantitatif des conclusions générales qui pourraient être tirées sur la nature des effets liés aux effluents et apporté certaines réponses à des questions auxquelles il serait très difficile de répondre à l'échelle d'une seule fabrique, notamment l'influence du type d'habitat, du type de traitement des effluents et des procédés utilisés par la fabrique sur les effets observés sur le terrain. Ainsi, l'évaluation nationale des ESEE porte sur divers points auxquels on avait prêté peu d'attention, si ce n'est aucune, antérieurement.

Les types de résultats possible des méta-analyses sont présentés sous forme résumée dans la figure 1. L'abscisse (l'axe des x) représente l'ampleur de l'effet standardisé et l'ordonnée (l'axe des y), l'absence d'effet. Les résultats obtenus pour chaque groupe de fabriques sont présentés sous la forme d'un intervalle de confiance de 95 % (segment de ligne horizontal), la marque de graduation indiquant l'ampleur moyenne de l'effet pour ce groupe de fabriques. Les distributions des fabriques (intervalles de confiance de 95 %) situées à la droite de la ligne d'effet nul indiquent que l'effet moyen associé à l'exposition aux effluents est une augmentation de la valeur de la mesure terminale. De même, les distributions des fabriques se situant à la gauche de la ligne d'effet nul indiquent une réduction de la valeur de la mesure terminale associée aux effluents. Dans la mesure où les intervalles de confiance de 95 % ne chevauchent pas la ligne d'effet nul en aucun point, l'augmentation ou la réduction est jugée significative du point de vue statistique pour le groupe dans son ensemble, mais le groupe peut aussi englober des sous-groupes présentant des effets significatifs du point de vue statistique.

Figure 1 : *Représentation schématique de la méta-analyse.*

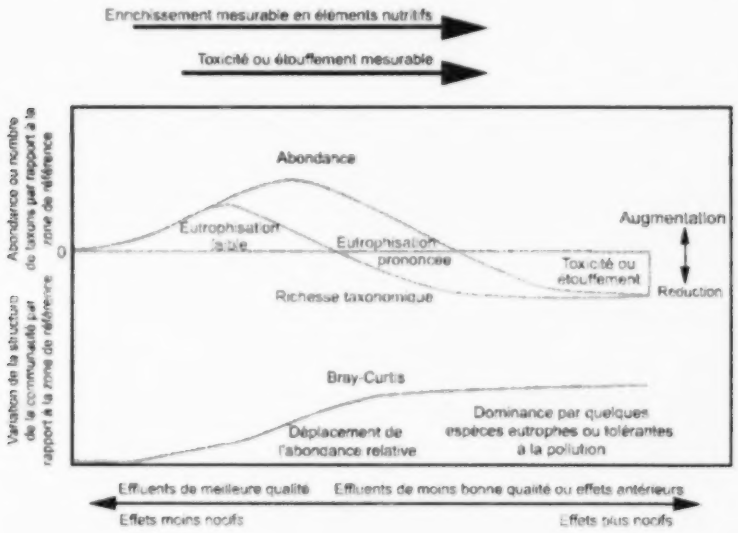


Tendances nationales

Des études antérieures ont permis de mieux comprendre les effets escomptés des effluents des fabriques de pâtes sur les communautés d'invertébrés benthiques (Lowell *et al.*, 1995, 1996, 2000; Lowell et Culp, 1999, 2002; Culp *et al.*, 2000a,b). La nature générale de ces effets interdépendants sur l'abondance, la richesse taxonomique et la structure des communautés est résumée dans la figure 2. Dans cette figure, l'abscisse indique une progression d'une meilleure qualité des effluents et des effets moins nocifs,

vers la gauche, à des effluents de très mauvaise qualité et à des effets nocifs plus importants, vers la droite. Des effets antérieurs (p.ex., effets d'étouffement par le tapis de fibres produits au cours de plusieurs années d'exploitation de la fabrique) peuvent aussi jouer un certain rôle.

Figure 2 : *Schéma de réponses anticipé (modifié d'après Lowell et al., 2000; voir aussi Culp et al., 2000a).*



L'enrichissement en éléments nutritifs (ou eutrophisation) s'accroît généralement de la gauche vers la droite, comme la toxicité ou les effets d'étouffement. Cet enrichissement peut souvent être mesuré à des concentrations d'effluents inférieures aux concentrations toxiques et les effets toxiques sont souvent masqués par l'eutrophisation quand les concentrations sont faibles ou moyennes. Une légère eutrophisation se caractérise par une augmentation tant de l'abondance que de la richesse en taxons. On note, encore plus à droite, que l'eutrophisation modérée correspond à une augmentation moindre de la richesse en taxons, bien qu'il puisse y avoir encore augmentation de l'abondance. Une eutrophisation plus prononcée correspond généralement à une diminution de la richesse en taxons même si l'abondance est plus grande que celle notée dans les zones de référence. Enfin, une diminution de la richesse en taxons et de l'abondance est habituellement signe d'effets inhibiteurs généralisés, comme ceux associés à la toxicité ou à l'étouffement.

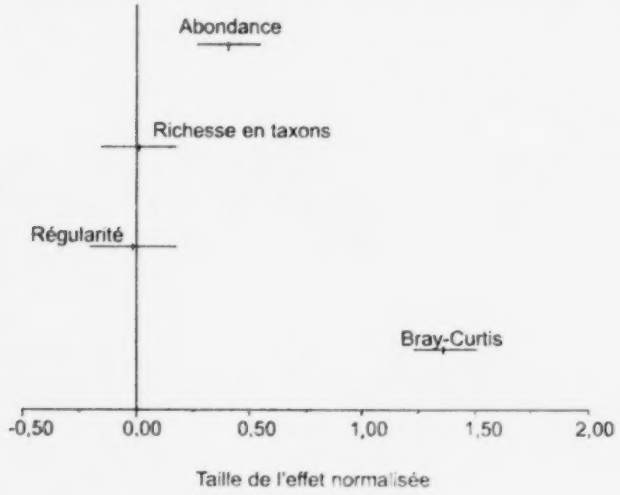
Dans le cadre du programme d'ESEE, les modifications dans la composition de la communauté des invertébrés sont déterminées à partir de la variation de l'indice de dissimilitude de Bray-Curtis. La valeur de cet indice s'accroît à mesure que la détérioration de la qualité des effluents donne lieu à de plus importants changements dans la composition de la communauté. Cela est illustré au bas de la figure 2, mais il faut se rappeler que les variations de la composition de la communauté ne sont pas toujours liées à des changements dans l'abondance totale et la richesse en taxons. Les communautés benthiques peuvent être perturbées de diverses façons, car des effets directs et indirects complexes font que l'exposition aux effluents peut donner lieu à des effets prononcés sur la composition de la communauté en l'absence d'effets aussi prononcés sur l'abondance ou la richesse en taxons, ou vice-versa.

Les effets généraux moyens sur les communautés d'invertébrés benthiques que l'on associe à l'exposition aux effluents sont illustrés dans la figure 3. Ces moyennes reflètent celles qui ont été déterminées dans tout le pays pour tous les types d'habitats et, comme c'est le cas des figures qui suivent, mettent l'accent sur les fabriques qui ont eu recours au plan d'étude contrôle-impact. En résumé, l'abondance totale se situait bien à droite de la ligne de l'effet nul (ligne verticale), ce qui signifie que l'effet le plus courant associé à l'exposition aux effluents était une augmentation du nombre d'invertébrés. Il s'agit là d'une réponse d'eutrophisation bien connue à l'exposition aux effluents des fabriques de pâtes et papier (Hall *et al.*, 1991; Dubé et Culp, 1996; Chambers *et al.*, 2000; Culp *et al.*, 2000a,b; Lowell *et al.*, 2000; Lowell et Culp, 2002) et s'explique par les effets d'enrichissement causé par le phosphore, l'azote et les matières organiques présents dans les effluents.

La figure 3 montre, qu'au contraire de l'abondance, la moyenne générale de la richesse taxonomique se rapprochait de zéro. Cela indique une distribution plus uniforme des fabriques présentant une augmentation, une diminution ou l'absence d'un changement significatif du nombre de taxons. Prises ensemble, les distributions de l'abondance et de la richesse taxonomique montrent que l'effet le plus courant noté dans tout le pays est une augmentation de l'abondance associée à une augmentation ou à une constance de la richesse taxonomique, ce qui est le signe d'une faible eutrophisation (voir Lowell *et al.*, 2003). Le nombre restreint de fabriques, pour lesquelles on notait une augmentation de l'abondance et une diminution de la richesse taxonomique étaient celles dont le milieu récepteur présentait aussi les indices habituels d'une eutrophisation plus prononcée. La moyenne générale pour la régularité se rapprochait de zéro, ce qui indique aussi une plus grande uniformité de la distribution des fabriques où l'on observait une

augmentation, une diminution ou aucune variation significative de la régularité. Par ailleurs, la moyenne générale pour l'indice de Bray-Curtis était positive et fortement significative. Cela montre l'existence de modifications nettes de la composition de la communauté d'invertébrés benthiques dans les zones exposées au pays. La façon dont cet indice est calculé fait en sorte que toute modification de la composition des communautés dans les zones exposées donne lieu à des valeurs positives (non négatives), les effets plus importants se traduisant par des valeurs plus élevées. Cette mesure terminale est très sensible de sorte que sa réponse est plus marquée. Les effets décelés représentés par l'indice de Bray-Curtis ont donc tendance à être fortement significatifs.

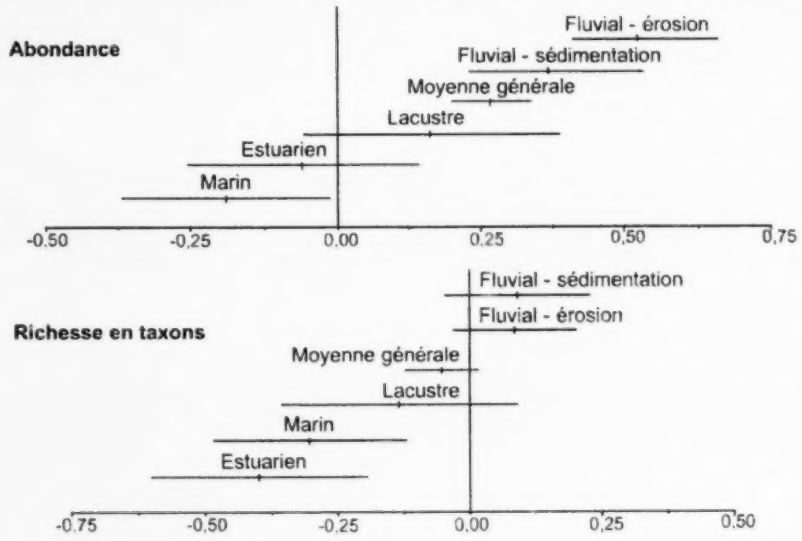
Figure 3 : *Moyenne générale des mesures terminales pour les invertébrés benthiques – plans d'étude contrôle-impact.*



Les effets sur les communautés d'invertébrés benthiques associés aux effluents variaient de façon significative en fonction des divers types d'habitats. Les principaux types d'habitats sont l'habitat fluvial (cours d'eau) d'érosion ou de sédimentation, lacustre (lacs) et marin-estuarien. L'abondance était accrue de façon appréciable dans les habitats fluviaux tant pour les habitats d'érosion que pour ceux de sédimentation tandis que la distribution des réponses pour la richesse taxonomique varie généralement de accrue à aucune variation appréciable (figure 4). Cette combinaison de réponses indique un effet moyen de faible eutrophisation dans les zones fluviales exposées. Au contraire, tant l'abondance que la richesse taxonomique diminuaient dans les habitats marins-estuariens, une réponse indiquant un effet de toxicité ou d'étouffement. Cette réponse inhibitrice dans les habitats marins-estuariens s'explique sans doute par une

combinaison de facteurs, notamment la détérioration de l'habitat à plusieurs fabriques en milieu marin due au dépôt avec le temps de tapis de fibres au fond de l'eau. Dans les habitats fluviaux d'érosion, les données portent à croire à une réduction de la régularité dans les zones exposées, ce qui peut indiquer la sensibilité des organismes de ces habitats à une eutrophisation même légère. Au contraire, la régularité était presque accrue de façon significative dans les zones marines-estuariennes exposées, ce qui porte à croire que les effets de toxicité ou d'étouffement peuvent avoir entraîné la perte de taxons plus rares, ne laissant qu'un nombre restreint et plus uniformément réparti de taxons tolérants à la pollution.

Figure 4 : *Influence de l'habitat sur l'abondance et la richesse en taxons (fabriques – plans contrôle-impact et par gradient).*

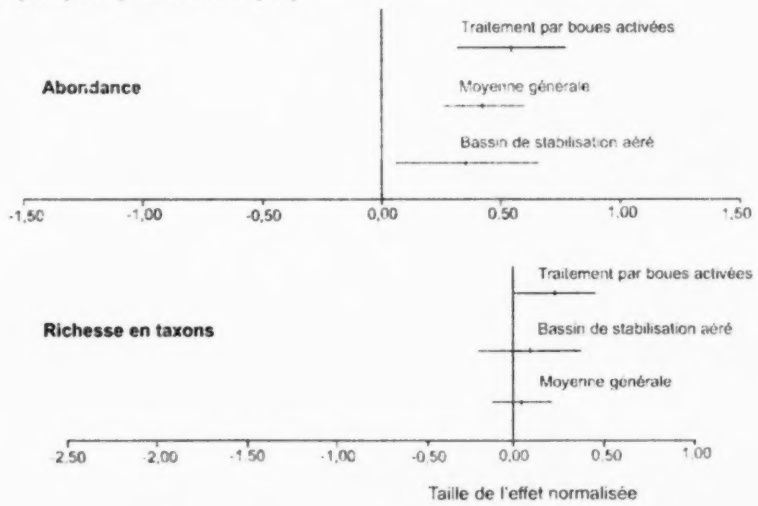


Les effets les plus importants sur les sous-groupes d'habitats dans les zones exposées ont été notés pour l'indice de Bray-Curtis, une mesure terminale sensible. Les variations de la composition de la communauté liées à l'exposition, et de beaucoup, ont été celles déterminées pour les habitats lacustres, contrairement aux autres mesures terminales, où les effets dans les lacs étaient plutôt intermédiaires. Cela montre que, dans des conditions environnementales différentes, les effets liés aux effluents peuvent se manifester de diverses façons et souligne l'importance de mesurer les variations de la structure de la communauté en utilisant plusieurs mesures terminales afin de mieux cerner les effets importants.

Au Canada, les fabriques de pâtes utilisent des procédés de fabrication et des procédés de traitement des effluents très variés. Les fabriques ont été regroupées en grandes catégories afin de déterminer si certains procédés de traitement des effluents ou de fabrication étaient liés à une augmentation ou à une réduction des effets sur l'environnement et de savoir si les divers groupes étaient plus ou moins équivalents quant à leurs effets. Les deux types de procédés de fabrication les plus courants étaient celui de la pâte kraft et celui de la pâte thermomécanique et les deux types de traitement des effluents les plus courants étaient celui des boues activées et celui des bassins de stabilisation aérés. Ces procédés représentant la plus grande partie des fabriques, les tendances observées au cours des méta-analyses s'appliquent à l'échelle nationale.

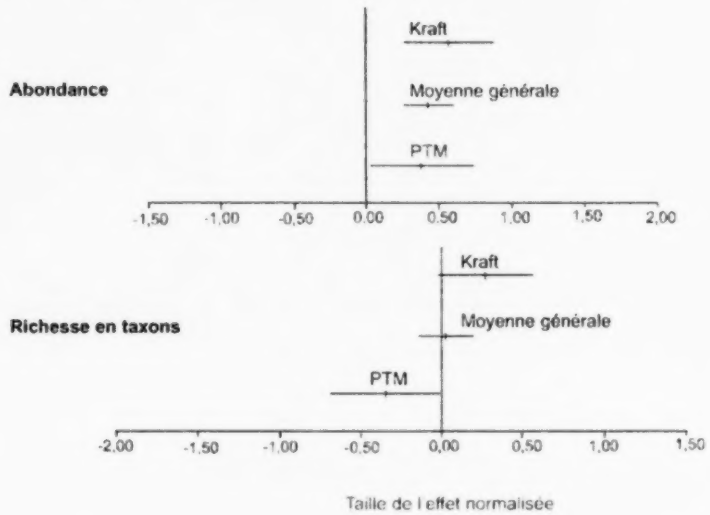
Le schéma de réponse pour l'abondance et la richesse taxonomique était semblable pour les deux grands types de traitement des effluents et reflétait le faible niveau d'eutrophisation habituellement observé pour les communautés d'invertébrés benthiques au moment du cycle 2 (figure 5). Les deux principaux types de traitement des effluents s'avéraient, eux-aussi, similaires en ce qui à trait aux effets sur la régularité et ne différaient pas de façon significative de la valeur zéro. En résumé, l'ampleur des effets était plus importante pour la mesure terminale de l'indice de Bray-Curtis et les variations de la composition de la communauté d'invertébrés étaient passablement semblables pour les deux types de traitement.

Figure 5 : *Influence du traitement des effluents sur l'abondance et la richesse en taxons (fabriques – plans contrôle-impact).*



L'abondance dans les zones exposées s'est accrue de façon significative pour les deux types de procédés de fabrication les plus courants (figure 6). Ces deux types différaient cependant pour ce qui est de la mesure de la richesse taxonomique, les résultats portant à croire à une eutrophisation plus légère pour les fabriques de pâtes kraft et une eutrophisation plus prononcée pour les fabriques de pâtes thermomécaniques, et cela à l'échelle nationale. La mesure terminale de la régularité présentait des réponses plutôt similaires pour les deux types de procédés. Selon les résultats obtenus, les fabriques qui présentaient une augmentation ou une diminution significative de la régularité ne pourraient être distinguées par le type de procédé. L'ampleur de l'effet était plus important pour l'indice de Bray-Curtis, mais la différence n'était pas significative entre les deux types de procédés.

Figure 6 : *Influence du procédé de fabrication sur l'abondance et la richesse en taxons (fabriques – plans contrôle-impact) Kraft = fabriques de pâte kraft; PTM = fabriques de pâte thermomécanique.*



Bien qu'ils semblent moins prononcés qu'antérieurement, les effets des effluents des fabriques de pâtes sur les communautés d'invertébrés benthiques sont encore largement présents. Pour ce qui est des indicateurs de l'étude, de 20 à 40 % des fabriques ont décelé des effets plus considérables que deux écarts-types. La réponse la plus courante observée à cet égard dans l'ensemble du pays était une eutrophisation allant de légère à modérée, notamment dans les habitats fluviaux, bien qu'une eutrophisation plus prononcée ait été observée à certaines fabriques. Au contraire, la réponse moyenne observée dans les habitats marins et estuariens indiquait plutôt des effets de toxicité ou d'étouffement. La réponse notée pour les lacs se situait entre celles des habitats fluviaux

et des habitats marins ou estuariens. Ces tendances sont des moyennes nationales et l'on trouve des exceptions dans chacun des sous-groupes d'habitats. La poursuite du suivi et les recherches qui l'accompagnent permettront de mieux comprendre la portée géographique et l'importance écologique de ces effets.

Études des populations de poissons

L'étude des populations de poissons consiste à effectuer un suivi des poissons dans les eaux réceptrices des effluents des fabriques et à faire une comparaison avec des poissons capturés dans une zone de référence. La démarche adoptée consiste à étudier la croissance, la reproduction, la condition et la survie pour évaluer la santé générale du poisson et peut signaler qu'une espèce est en péril.

Les études de suivi des poissons réalisées pendant le cycle 1 se sont heurtées à plusieurs problèmes. Ainsi, ce n'est qu'à 8 % des fabriques (9 des 115 études) qu'il a été possible de capturer le nombre minimum nécessaire de poissons (20 mâles et 20 femelles de deux espèces) dans les zones exposées et les zones de référence (Environnement Canada, 1997). L'objectif n'a été atteint que partiellement ou presque complètement que pour 50 % des fabriques et il n'a pas été atteint pour 42 % d'entre elles (nombre insuffisant de poissons de chaque espèce et de chaque sexe).
Les problèmes les plus courants survenus au cours du cycle 1 ont été le nombre insuffisant de poissons, l'incertitude quant à l'exposition aux effluents, l'absence de sites de référence appropriés et la présence d'autres effluents. Les études du cycle 2 se sont avérées mieux réussies car, pour plus de 82 % d'entre elles, il a été possible de recueillir suffisamment de données pour en permettre l'interprétation.

Comme dans le cas des études de la communautés d'invertébrés benthiques, tous les effets notés au cours du cycle 2 n'étaient pas nécessairement attribués aux fabriques. Pour certains sites, des incertitudes quant au plan d'étude faisaient douter des résultats obtenues. En outre, les effets mesurés ne sont pas toujours pertinents du point de vue écologique, pour un site en particulier et à un temps donné du moins en ce qui touche certains aspects. Ainsi, si la population de poissons se maintient, cela peut indiquer qu'elle peut survivre en dépit de la présence d'effluents de mauvaise qualité, bien que cela puisse également supposer l'accès à des eaux non polluées à certains moments du cycle biologique (McMaster *et al.*, 1991; Munkittrick *et al.*, 1997, 1998).

Analyse des données des études des populations de poissons

Les résultats de la présente évaluation nationale des effets sur le poisson ont été obtenus par l'analyse des données électroniques présentées par les fabriques à Environnement Canada. Ces données ont servi à réaliser diverses analyses statistiques et, lorsque cela était possible, les résultats ont été comparés avec les rapports d'interprétation fournis par les fabriques. En général, la concordance entre les résultats présentés par les fabriques et ceux des analyses des données électroniques était bonne.

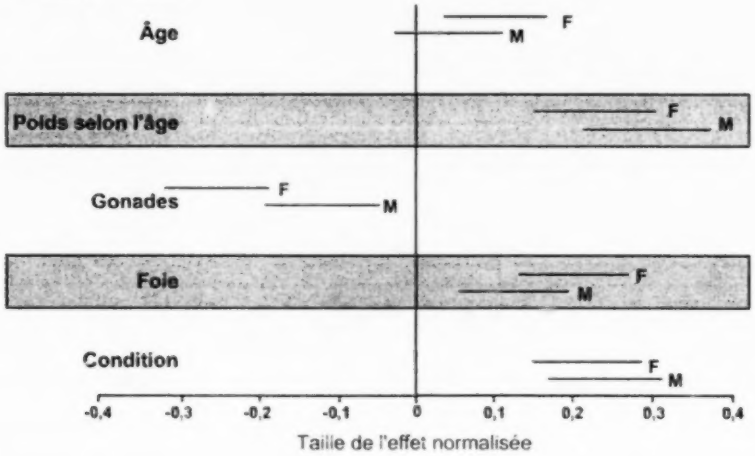
Tendances nationales

La gamme des effets a été déterminée en calculant la variation en pourcentage de chaque mesure terminale entre les zones exposées et les zones de référence. Ainsi, la variation s'étend d'une baisse de 27 % à une augmentation de 24 % pour le coefficient de condition, d'une baisse de 90 % à une augmentation de 286 % pour le poids des gonades et d'une baisse de 88 % à une augmentation de 73 % pour le poids du foie. Pour ce qui est des effets mesurés de l'étude des populations de poissons, dans le cas de 20 % des fabriques, le poids des gonades et du foie avait augmenté de plus de 20 à 30 % et le coefficient de condition de plus de 10 %. Il s'agit donc de quelques-uns des plus importants effets mesurés.

Des méta-analyses ont été réalisées à l'aide des principales mesures terminales et les effets ont été évalués en tenant compte de plusieurs facteurs ayant pu avoir une influence, notamment le sexe, l'espèce de poisson, le type de procédé de la fabrique, le type de traitement des effluents et le type d'habitat du milieu récepteur.

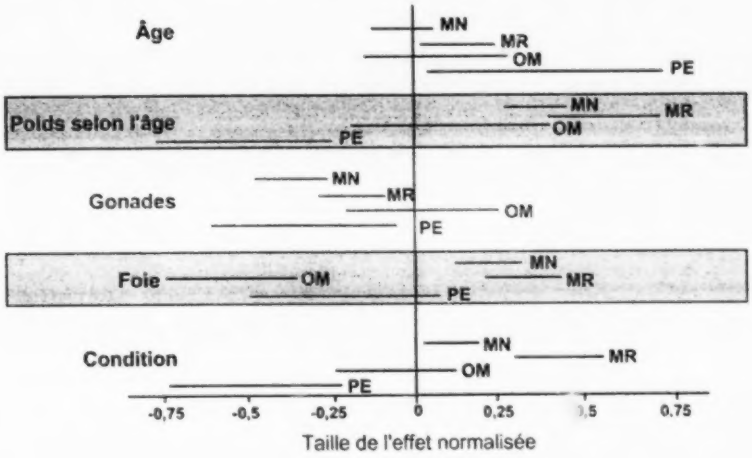
Tant les poissons mâles que femelles ont présenté des réponses semblables pour toutes les mesures terminales, sauf une, ce qui montre que le sexe n'a pas influé de façon importante sur les résultats (figure 7). Les poissons de la zone exposée présentaient une diminution significative du poids des gonades, l'ampleur des effets étant plus importante chez les femelles que chez les mâles. La condition, le poids du foie et le poids selon l'âge présentaient tous une augmentation significative dans les zones exposées tant chez les mâles que chez les femelles. En outre, les femelles capturées dans les zones exposées étaient d'un âge significativement plus élevé, peut-être à cause de la perte de juvéniles, d'une meilleure survie des poissons plus âgés ou d'un retard de la maturité chez les femelles. Un effet semblable sur l'âge, bien que non significatif, a été décelé chez les mâles.

Figure 7 : *Influence du sexe sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson M = mâle, F = femelle.*



Les effets reliés à l'exposition aux effluents ont été évalués chez 19 espèces de poissons. La figure 8 présente les résultats de la méta-analyse pour les quatre espèces les plus courantes (meunier noir, meunier rouge, perchaude et omisco) en fonction de chacune des cinq mesures terminales principales. À l'échelle nationale, les deux espèces les plus courantes (meunier noir et meunier rouge) présentaient une augmentation significative du poids du foie, de la condition et du poids selon l'âge et une diminution du poids des gonades. Ces effets concordaient avec l'allure générale de la réponse à l'échelle nationale pour toutes les espèces réunies. On a aussi noté chez le meunier rouge une augmentation significative de l'âge dans les zones exposées, ce qui correspond à la réponse à l'échelle nationale. La structure de l'âge moyen pour le meunier noir ne présentait cependant pas de différence significative entre les zones exposées et les zones de référence. On a noté pour la perchaude une diminution significative de la condition, du poids des gonades et du poids selon l'âge ainsi qu'une diminution du poids du foie, mais celle-ci n'était pas significative. Les réponses notées chez la perchaude correspondaient à ce que l'on trouve normalement dans les situations de pénurie de nourriture.

Figure 8 : *Influence de l'espèce sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson*
MN = meunier noir; MR = meunier rouge; OM = omisco; PE = perchaude.



Les schémas de réponse observés pour les deux procédés de fabrication les plus courants, pâte thermomécanique et pâte kraft, étaient assez semblables. Les poissons présentaient généralement une diminution du poids des gonades et une augmentation de l'âge, du poids selon l'âge, du poids du foie et de la condition indépendamment du type de procédé, mais l'effet sur le foie n'était pas aussi significatif dans le cas des fabriques de pâtes kraft (figure 9).

Figure 9 : *Influence du type de procédé de la fabrique sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson*
Kraft = fabriques de pâte kraft; PTM = fabriques de pâte thermomécanique.

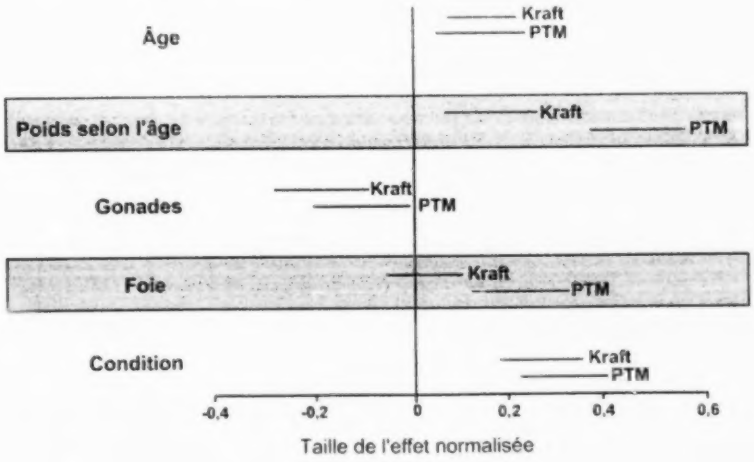
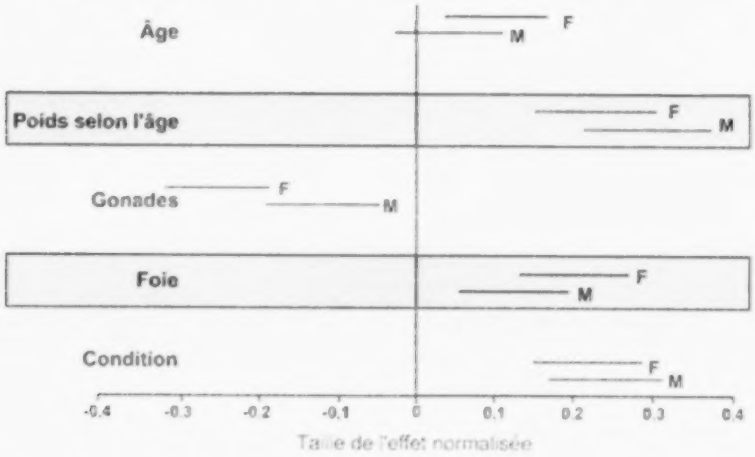
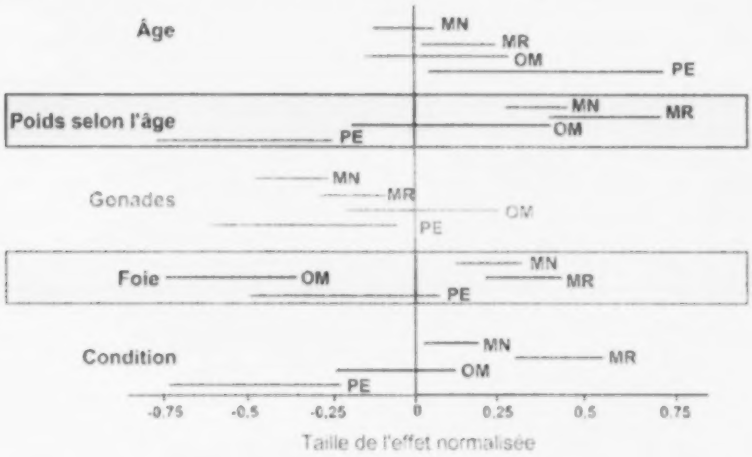


Figure 7 : *Influence du sexe sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson. M = mâle, F = femelle*



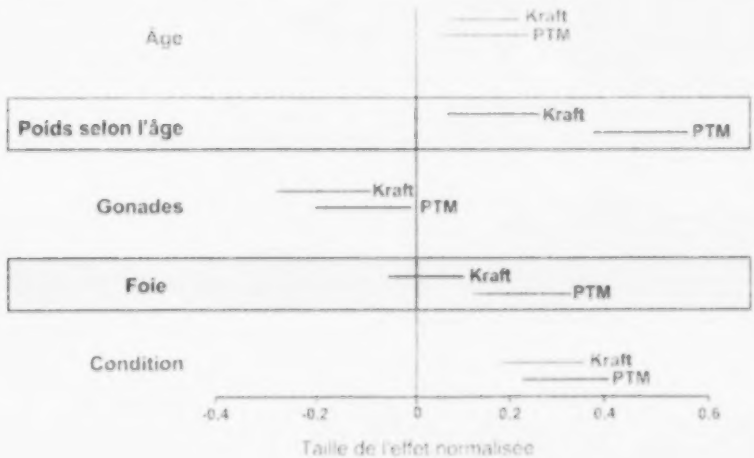
Les effets reliés à l'exposition aux effluents ont été évalués chez 19 espèces de poissons. La figure 8 présente les résultats de la méta-analyse pour les quatre espèces les plus courantes (meunier noir, meunier rouge, perchaude et omisco) en fonction de chacune des cinq mesures terminales principales. À l'échelle nationale, les deux espèces les plus courantes (meunier noir et meunier rouge) présentaient une augmentation significative du poids du foie, de la condition et du poids selon l'âge et une diminution du poids des gonades. Ces effets concordaient avec l'allure générale de la réponse à l'échelle nationale pour toutes les espèces réunies. On a aussi noté chez le meunier rouge une augmentation significative de l'âge dans les zones exposées, ce qui correspond à la réponse à l'échelle nationale. La structure de l'âge moyen pour le meunier noir ne présentait cependant pas de différence significative entre les zones exposées et les zones de référence. On a noté pour la perchaude une diminution significative de la condition, du poids des gonades et du poids selon l'âge ainsi qu'une diminution du poids du foie, mais celle-ci n'était pas significative. Les réponses notées chez la perchaude correspondaient à ce que l'on trouve normalement dans les situations de pénurie de nourriture.

Figure 8 : *Influence de l'espèce sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson. MN = meunier noir; MR = meunier rouge; OM = omisco; PE = perchaude.*



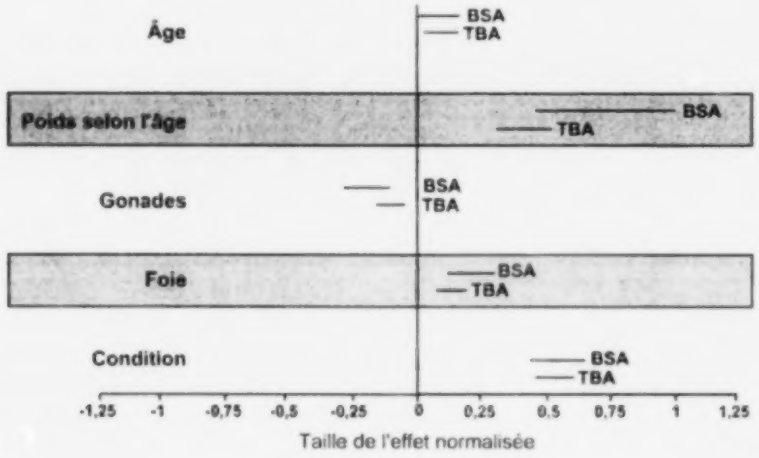
Les schémas de réponse observés pour les deux procédés de fabrication les plus courants, pâte thermomécanique et pâte kraft, étaient assez semblables. Les poissons présentaient généralement une diminution du poids des gonades et une augmentation de l'âge, du poids selon l'âge, du poids du foie et de la condition indépendamment du type de procédé, mais l'effet sur le foie n'était pas aussi significatif dans le cas des fabriques de pâtes kraft (figure 9).

Figure 9 : *Influence du type de procédé de la fabrique sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson. Kraft = fabriques de pâte kraft; PTM = fabriques de pâte thermomécanique.*



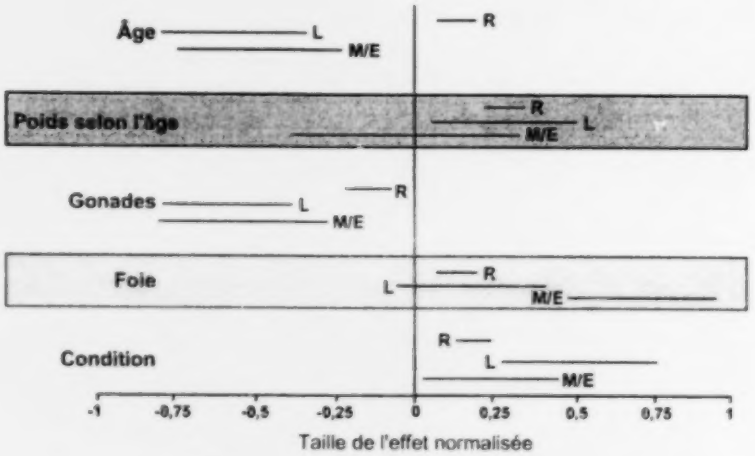
Les schémas de réponse étaient assez semblables pour les deux types de traitement les plus courants, celui par boues activées et celui par bassin de stabilisation aéré (figure 10). Ici aussi, le schéma général se caractérisait par une augmentation du poids selon l'âge, du poids du foie et de la condition et par une diminution du poids des gonades. On a noté une augmentation de l'âge pour les deux types d'effluents, bien que cette différence n'était pas significative dans le cas du traitement par bassin de stabilisation aéré.

Figure 10 : *Influence du type de traitement sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson. BSA = bassin de stabilisation aéré; TBA = traitement par boues activées.*



Comme pour les analyses des invertébrés benthiques, les zones réceptrices ont été subdivisées en trois types d'habitats : fluvial (cours d'eau), lacustre et marin-estuarien (figure 11). On observe, pour les trois types, une diminution du poids des gonades, surtout dans les sites lacustres et marins-estuariens. Le coefficient de condition était accru de façon significative dans les trois types d'habitats, le poids du foie l'était pour les sites fluviaux et marins-estuariens et le poids selon l'âge pour les sites des cours d'eau et des lacs. L'âge présentait une augmentation significative dans les zones réceptrices des cours d'eau et une diminution significative dans celles des lacs et des sites marins-estuariens. En résumé, on notait des variations significatives pour les cinq mesures terminales dans les sites des cours d'eau et des variations significatives pour quatre des cinq variables dans les sites lacustres et marins-estuariens.

Figure 11 : *Influence de l'habitat sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson*
R = Rivière/cours d'eau; L = lac; M-E = marin-estuarien



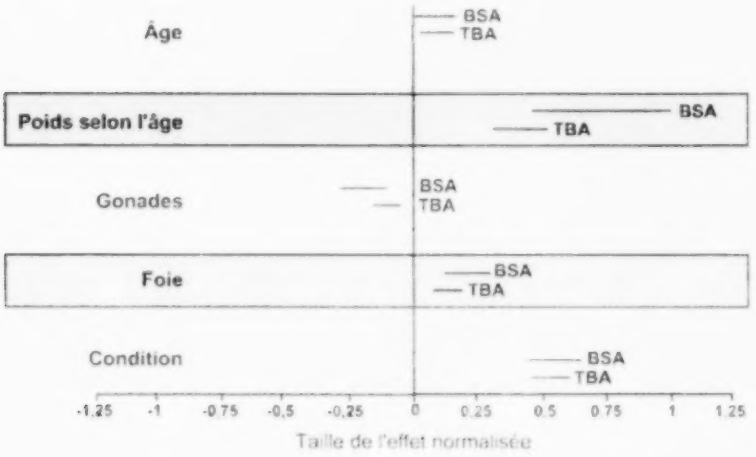
Le schéma de réponse prédominant chez les poissons dans l'ensemble du pays (diminution du poids des gonades et augmentation du poids du foie, du coefficient de condition et du poids selon l'âge) semble indiquer une certaine perturbation métabolique combinée à un effet d'enrichissement en éléments nutritifs. Bien que le mécanisme de telles réponses et leur importance écologique demeurent imprécis, ces tendances observées à l'échelle nationale pourraient bien être reliées à une certaine forme de perturbation de la fonction endocrinienne qui est le fondement de la croissance et du développement reproducteur (Munkittrick, 2001). De pair avec cet effet perturbateur du métabolisme, l'augmentation du poids du foie et du coefficient de condition sont souvent un indice d'une augmentation de la disponibilité de la nourriture ou d'un enrichissement en éléments nutritifs. L'allure générale dégagée au cours du cycle 2 est comparable aux observations faites au cours du cycle 1. Il faudra mener d'autres recherches et poursuivre les ESEE afin de comprendre ces phénomènes et de confirmer le type, l'étendue spatiale et l'importance écologique de ces effets.

Schéma général des réponses pour les communautés d'invertébrés benthiques et les populations de poissons à l'échelle nationale

Les résultats des études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons ont été intégrés de façon quantitative par méta-analyses et analyses multivariées afin de bien dégager les allures générales des réponses à l'échelle

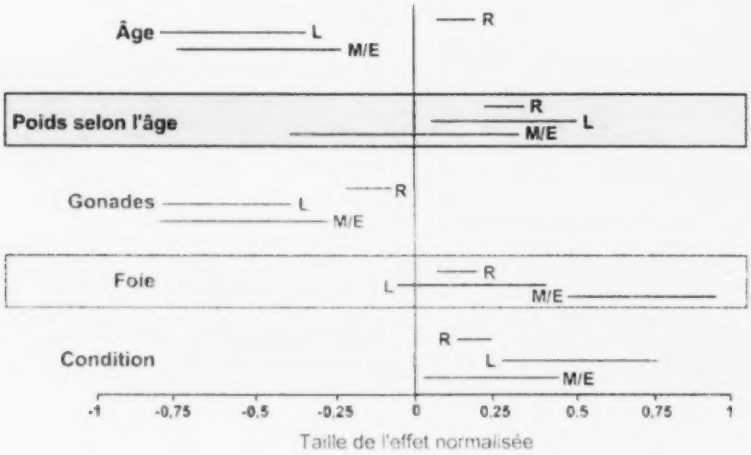
Les schémas de réponse étaient assez semblables pour les deux types de traitement les plus courants, celui par boues activées et celui par bassin de stabilisation aéré (figure 10). Ici aussi, le schéma général se caractérisait par une augmentation du poids selon l'âge, du poids du foie et de la condition et par une diminution du poids des gonades. On a noté une augmentation de l'âge pour les deux types d'effluents, bien que cette différence n'était pas significative dans le cas du traitement par bassin de stabilisation aéré.

Figure 10 : *Influence du type de traitement sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson. BSA = bassin de stabilisation aéré; TBA = traitement par boues activées*



Comme pour les analyses des invertébrés benthiques, les zones réceptrices ont été subdivisées en trois types d'habitats : fluvial (cours d'eau), lacustre et marin-estuarien (figure 11). On observe, pour les trois types, une diminution du poids des gonades, surtout dans les sites lacustres et marins-estuariens. Le coefficient de condition était accru de façon significative dans les trois types d'habitats, le poids du foie l'était pour les sites fluviaux et marins-estuariens et le poids selon l'âge pour les sites des cours d'eau et des lacs. L'âge présentait une augmentation significative dans les zones réceptrices des cours d'eau et une diminution significative dans celles des lacs et des sites marins-estuariens. En résumé, on notait des variations significatives pour les cinq mesures terminales dans les sites des cours d'eau et des variations significatives pour quatre des cinq variables dans les sites lacustres et marins-estuariens.

Figure 11 : *Influence de l'habitat sur les cinq principales mesures terminales pour le poisson*
R = Rivière/cours d'eau; L = lac; M-E = marin-estuarien



Le schéma de réponse prédominant chez les poissons dans l'ensemble du pays (diminution du poids des gonades et augmentation du poids du foie, du coefficient de condition et du poids selon l'âge) semble indiquer une certaine perturbation métabolique combinée à un effet d'enrichissement en éléments nutritifs. Bien que le mécanisme de telles réponses et leur importance écologique demeurent imprécis, ces tendances observées à l'échelle nationale pourraient bien être reliées à une certaine forme de perturbation de la fonction endocrinienne qui est le fondement de la croissance et du développement reproducteur (Munkittrick, 2001). De pair avec cet effet perturbateur du métabolisme, l'augmentation du poids du foie et du coefficient de condition sont souvent un indice d'une augmentation de la disponibilité de la nourriture ou d'un enrichissement en éléments nutritifs. L'allure générale dégagée au cours du cycle 2 est comparable aux observations faites au cours du cycle 1. Il faudra mener d'autres recherches et poursuivre les ESEE afin de comprendre ces phénomènes et de confirmer le type, l'étendue spatiale et l'importance écologique de ces effets.

Schéma général des réponses pour les communautés d'invertébrés benthiques et les populations de poissons à l'échelle nationale

Les résultats des études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons ont été intégrés de façon quantitative par méta-analyses et analyses multivariées afin de bien dégager les allures générales des réponses à l'échelle

nationale. Une bonne correspondance a été notée entre les résultats des deux types d'études. Tel qu'anticipé, les cas où les poissons présentaient une réponse combinant la perturbation métabolique et l'enrichissement en éléments nutritifs étaient reliés de près à ceux où les invertébrés benthiques montraient des signes d'eutrophisation. Les résultats ont aussi révélé que les effets chez les poissons reliés à l'enrichissement en éléments nutritifs (sans perturbation métabolique mesurable) pouvaient ne pas être décelés avant que les invertébrés benthiques ne subissent les effets d'une eutrophisation prononcée. Ces analyses ont montré que les deux éléments principaux d'études sur le terrain des ESEE se complétaient, chacun permettant d'obtenir des renseignements particuliers sur divers aspects des effets de l'exposition aux effluents.

Les mesures terminales avaient été choisies pour mesurer un aspect particulier de la façon dont les populations de poissons ou les communautés benthiques pourraient réagir aux effluents des fabriques de pâtes. Les analyses intégrées ont montré que cela avait été obtenu et ont confirmé que les mesures terminales des éléments principaux des ESEE n'étaient ni redondantes ni répétitives. Chaque mesure terminale s'avère utile à la description d'un aspect différent (et partiellement indépendant) de la nature des effets des effluents. L'abandon de l'une ou l'autre de ces mesures se traduirait par le risque de négliger un élément important des effets des effluents.

L'effet de l'effluent des fabriques de pâtes et papiers sur l'utilisation des ressources halieutiques est évalué par des essais d'altération, conçus pour déterminer si le goût du poisson est changé, et le dosage des dioxines et des furannes dans les parties comestibles du poisson.

Seulement deux fabriques ont effectué une étude d'altération dans le cadre du cycle 2. Dans un cas, on a conclu que la fabrique était la cause de l'altération, et des mesures sont présentement mises en place pour atténuer ce problème. Dans l'autre cas, on a confirmé que l'altération posait un problème dans la zone d'exposition, mais la cause ne pouvait être cernée, bien que l'on soupçonne que l'effluent de la fabrique soit la source.

Dans le cycle 1, les fabriques qui utilisaient le blanchiment au chlore ou l'avaient utilisé par le passé ont été obligées de doser les congénères des dioxines et des furannes dans les parties comestibles du poisson. Lorsque les résultats indiquaient des concentrations inférieures aux recommandations concernant la consommation du poisson, la fabrique était exemptée des dosages à effectuer dans les cycles suivants. Les résultats du

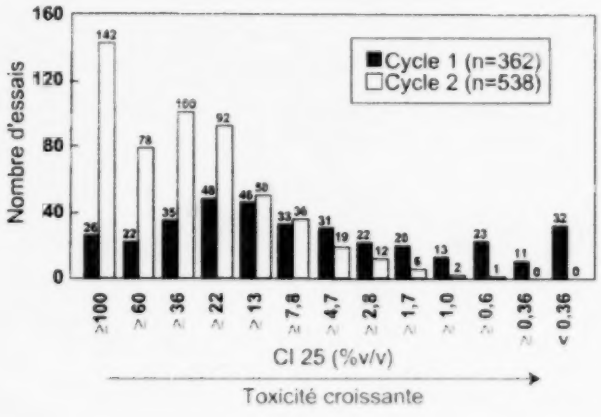
cycle 1 ont montré que les concentrations de dioxines et de furannes dans les parties comestibles des poissons étaient faibles. Par conséquent, au cycle 2, dix fabriques seulement ont dosé ces composés dans le tissu des poissons, et pour six d'entre elles, les concentrations étaient supérieures aux recommandations de Santé Canada concernant la consommation du poisson. D'autres études seront nécessaires pour déterminer la source des dioxines et des furannes à ces six endroits.

Toxicité sublétale

Les essais de toxicité sublétale permettent aux responsables des fabriques de surveiller la qualité de leurs effluents et de complémenter les données de terrain des ESEE. Dans le cadre du programme des ESEE, les résultats des essais sublétaux portant sur les effluents ou les eaux réceptrices permettent de déterminer les variations temporelles de la toxicité, notamment celles qui résultent de changements apportés aux procédés ou au traitement des effluents de la fabrique, d'évaluer le potentiel d'effets dans les eaux réceptrices et d'estimer, dans les situations où les rejets sont multiples, les apports relatifs des diverses sources à tout effet observé dans l'environnement récepteur.

Les données de toxicité sublétale du programme d'ESEE montrent qu'il y a eu une amélioration à l'échelle nationale de la qualité des effluents des fabriques de pâtes et papiers canadiennes entre la réalisation des cycles 1 et 2. Cette amélioration s'explique en grande partie par la mise en place de systèmes de traitement secondaire dans la majorité des fabriques au cours de cette période. La figure 12 illustre l'importante réduction de la toxicité des effluents entre les cycles 1 et 2, en prenant comme exemple *Ceriodaphnia dubia* (un invertébré).

Figure 12 : *Sommaire des résultats des essais de reproduction de Ceriodaphnia dubia pour les cycles 1 et 2.*



Conclusions générales

L'industrie canadienne des pâtes et papiers a investi des milliards de dollars dans la recherche et la technologie afin de réduire ses émissions et d'améliorer la qualité de ses effluents. Actuellement, la plupart des fabriques de pâtes et papiers du Canada disposent, au minimum, de systèmes de traitement primaire et secondaire. Les fabriques ont réussi à réduire de façon extrêmement importante la toxicité de leurs effluents, mais les données du programme d'ESEE montrent qu'il y a toujours des incidences sur l'environnement aquatique.

À l'échelle nationale, les études des communautés d'invertébrés benthiques révèlent que, de façon générale, l'exposition aux effluents des fabriques de pâtes a donné lieu à des effets montrant une eutrophisation du milieu. Cet effet d'enrichissement en éléments nutritifs qui variait normalement de faible à modéré (mais parfois prononcé) s'explique sans doute par la présence de phosphore, d'azote et de matières organiques dans les effluents. Les ESEE ont montré que le plan d'étude et le type d'habitat avaient eu une certaine influence sur les résultats. Ainsi, les habitats fluviaux présentaient une légère eutrophisation, les habitats marins-estuariens présentaient des signes d'effets toxiques ou d'étouffement, alors que les lacs présentaient des réponses intermédiaires.

Des effets ont aussi été observés chez les poissons en aval des points de rejet des effluents des fabriques de pâtes et papiers, la réponse générale prenant la forme d'une perturbation du métabolisme combinée à un enrichissement en éléments nutritifs du milieu. Dans le cas des poissons, la tendance nationale était une diminution du poids des gonades et une augmentation du poids du foie, du coefficient de condition et du poids selon l'âge. D'autres tendances ont été observées, notamment celles correspondant à des conditions de manque de nourriture.

L'intégration des résultats a montré une bonne concordance entre les études des communautés d'invertébrés benthiques et des populations de poissons. Les effets reliés à une perturbation métabolique et ceux dus à l'enrichissement en éléments nutritifs du milieu observés chez les poissons correspondaient à l'effet de l'eutrophisation observée pour le benthos. Les résultats montraient aussi que l'effet généralisé d'enrichissement en éléments nutritifs (en l'absence de perturbation métabolique mesurable) pourrait ne pas être décelé chez les poissons avant que le benthos ne subissent les effets d'une eutrophisation avancée. L'intégration des résultats a aussi montré que ces deux

éléments principaux des ESEE sur le terrain se complétaient mutuellement en révélant des aspects différents des effets associés à l'exposition aux effluents.

L'évaluation nationale des données du programme d'ESEE a révélé l'existence d'importantes tendances des réponses des environnements aquatiques dans les environs des fabriques de pâtes et papiers. Bien que la qualité des effluents se soit grandement améliorée depuis la promulgation, en 1992, du Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers, les fabriques continuent de produire des effets sur le poisson et son habitat (tels que mesurés par l'étude des communautés d'invertébrés benthiques). Il faudra poursuivre les travaux de suivi pour évaluer l'étendue spatiale et l'importance écologique des effets observés, et Environnement Canada continuera de collaborer avec l'industrie et d'autres intervenants afin de mieux en comprendre la portée. En outre, les résultats de l'évaluation nationale ont confirmé que chacune des mesures terminales utilisées dans le programme d'ESEE fournissait des données utiles et écologiquement importantes en matière de suivi. Ces résultats constituent un excellent point de départ et soulignent l'importance de poursuivre le programme d'ESEE.

Glossaire

Abondance totale – Nombre total d'individus, exprimé par unité de surface et de toutes les catégories taxonomiques, qui ont été prélevés à une station d'échantillonnage.

Bassin de stabilisation aéré – Bassin de traitement généralement profond d'un ou deux mètres et construit de façon à permettre à la lumière naturelle, aux microorganismes et à l'oxygène d'interagir afin de dégrader la matière organique. Ces bassins comportent des aérateurs pour améliorer le transfert de l'oxygène dans l'eau.

Coefficient de condition – Mesure de la condition physique des poissons fondée sur le rapport entre le poids corporel et la longueur du corps. Le coefficient de condition exprime essentiellement l'état plus ou moins « gras » des poissons dans chaque zone.

Communauté d'invertébrés benthiques – Populations interdépendantes de petits animaux (à l'exclusion des poissons et des autres vertébrés) qui vivent sur le fond ou près du fond d'un plan d'eau et qui peuvent servir de nourriture aux poissons. La mesure de l'évolution des communautés d'invertébrés permet de mieux comprendre les variations des habitats aquatiques et d'évaluer les ressources alimentaires aquatiques disponibles pour les poissons.

Contrôle-impact, plan – Plan d'étude comportant au moins une zone de référence, généralement située en amont de la fabrique ou dans un autre bassin versant, et une ou plusieurs zones exposées situées en aval. Ce plan d'étude a surtout été utilisé pour les cours d'eau.

Dépôt (sédimentation), zone de – Généralement une partie d'un habitat fluvial où l'écoulement de l'eau tend à être plus lent et ainsi favoriser le dépôt des sédiments. Le substrat de ces zones est généralement plus mou et de nature plus granulaire.

Effet – Dans le contexte du programme d'ESEE, un effet est une différence significative du point de vue statistique entre des mesures réalisées dans une zone exposée et celles réalisées dans une zone de référence.

Endocrinien – Le système endocrinien régit diverses fonctions internes de l'organisme par la sécrétion d'hormones qui sont transportées dans le sang.

Enrichissement en éléments nutritifs – Effet résultant de l'ajout dans l'environnement de quantités importantes de matières nutritives organiques ou inorganiques.

Érosion, zone d' – Généralement une partie d'un habitat fluvial où l'écoulement de l'eau tend à être plus rapide et turbulent. Dans ces zones, les sédiments sont habituellement transportés vers l'aval. Le substrat du fond y est normalement formé de sédiments grossiers, de pierres et de galets.

Étouffement – Suraccumulation de matières organiques, provenant des effluents d'une fabrique de pâtes et papiers, sur le fond d'un plan d'eau et qui nuit à la vie des organismes et peut parfois causer leur mort.

Eutrophisation – Processus de surfertilisation d'un plan d'eau par des éléments nutritifs qui résulte souvent en une production excessive de biomasse organique et qui se caractérise par un grand nombre d'organismes et, lorsqu'il est prononcé, par un nombre restreint d'espèces. L'eutrophisation est un processus naturel qui peut être accéléré par une augmentation de la charge d'éléments nutritifs découlant d'activités humaines.

Fabrique de pâte kraft – Fabrique utilisant un procédé complètement chimique de fabrication de la pâte à partir du bois qui permet d'obtenir des papiers généralement grossiers reconnus pour leur résistance et qui, lorsqu'ils ne sont pas blanchis, servent surtout de matériaux d'emballage.

Fabrique de pâte thermomécanique – Une fabrique où la pâte est obtenue à l'aide d'un processus en deux étapes. Tout d'abord, les copeaux de bois sont désintégrés par de la vapeur sous pression dans un raffineur spécial avant d'être raffinés davantage par le moyen de diverses réactions chimiques à haute température. Dans la deuxième étape, le raffineur fonctionne à la température ambiante et les fibres ainsi traitées peuvent être directement utilisées pour la fabrication du papier. La pâte thermomécanique est généralement très résistante et sert à faire des papiers couchés ou non couchés, comme les papiers destinés aux revues, catalogues, annuaires, livres, etc.

Gradient, plan par – De façon générale, l'échantillonnage est réalisé selon un gradient de concentrations d'effluents décroissantes, en débutant par des zones exposées situées à proximité de la fabrique et en progressant vers des zones moins exposées, situées plus loin. Ce plan d'étude a parfois été utilisé dans des situations où il y avait dilution rapide des effluents.

Indice de Bray-Curtis – Indice qui sert à mesurer le degré de différence de la structure des communautés (plus particulièrement la composition des communautés) entre les sites. Cette mesure facilite l'évaluation de la dissimilitude entre les communautés d'invertébrés benthiques de sites différents.

Indice de diversité de Simpson – Mesure des caractéristiques d'une communauté qui tient compte à la fois de l'abondance et de la richesse taxonomique de la communauté d'invertébrés benthiques. Il est calculé en déterminant, pour chaque groupe taxonomique, la proportion d'individus de ce groupe au sein de l'échantillon total.

Mesure terminale – Mesure particulière utilisée à titre d'indicateur des effets potentiellement importants des effluents sur le biote des eaux réceptrices. On compte, comme exemples, le poids des gonades, le poids du foie, le coefficient de condition et le poids selon l'âge pour les poissons, ou l'abondance, la richesse taxonomique, l'indice de diversité de Simpson et l'indice de Bray-Curtis pour le benthos.

Perturbation métabolique – Le métabolisme est un mécanisme de l'organisme qui assure la synthèse de substances complexes à partir de substances plus simples ou la dégradation de substances complexes. Il peut être perturbé par une exposition à des substances nocives présentes dans l'environnement, ce qui peut donner lieu à des déséquilibres importants de la maturation, du comportement sexuel, de la croissance, etc. de l'organisme.

Poids selon l'âge – Mesure du taux de croissance du poisson décrite par le quotient de la taille (poids) sur l'âge. Au cours de la vie d'un poisson, le taux d'accroissement de la taille diminue généralement à mesure que le poisson approche du moment de sa mort.

Richesse taxonomique – Nombre total des diverses catégories taxonomiques auxquelles appartiennent les organismes prélevés à une station d'échantillonnage.

Taxon – Les organismes sont classés selon des catégories en fonction de leurs similitudes et de leurs relations évolutives. Chacune de ces catégories (p. ex., espèce, genre, famille, phylum) est appelée un taxon.

Toxicité sublétale – Dans le contexte du programme d'ESEE, les essais de toxicité sublétale mesurent généralement la proportion d'organismes affectés par l'exposition à des concentrations données d'effluents de fabriques de pâtes et papiers. L'essai de toxicité sublétale mesure ce qui est nocif pour l'organisme, mais à un niveau inférieur à celui qui cause directement la mort pendant la période d'essai.

Traitement par boues activées – Procédé de traitement des sous-produits résiduels, comme l'encre et les particules de fibres des papiers recyclés, par lequel des bactéries décomposantes sont ajoutées aux boues et le mélange obtenu est agité afin d'y dissoudre l'oxygène. Les boues ainsi obtenues sont ensuite enfouies ou séchées et brûlées.

Zone de référence – Zone d'échantillonnage qui n'est pas exposée aux effluents de la fabrique de pâtes et papiers étudiée et dont les caractéristiques de l'habitat naturel, y compris les incidences anthropiques, sont semblables à celles des zones exposées.

Zone exposée – Zone d'échantillonnage où les poissons et les invertébrés benthiques sont exposés aux effluents des fabriques de pâtes et papiers. Cette zone peut s'étendre à plusieurs environnements récepteurs et englober divers types d'habitats.

Références :

Biermann, C.J. 1996. Pulping and paper making. Academic Press, San Diego, California.

Bothwell, M.L. 1992. Eutrophication of rivers by nutrients in treated kraft pulp mill effluent. Water Pollut. Res. J. Can. 27: 447–472.

Chambers, P.A., A.R. Dale, G.J. Scrimgeour et M.L. Bothwell. 2000. Nutrient enrichment of northern rivers in response to pulp mill and municipal discharges. J. Aquat. Ecosyst. Stress Recov. 8: 53–66.

Culp, J.M., R.B. Lowell et K.J. Cash. 2000a. Integrating mesocosm experiments with field and laboratory studies to generate weight-of-evidence risk assessments for large rivers. Environ. Toxicol. Chem. 19: 1167–1173.

Culp, J.M., C.L. Podemski et K.J. Cash. 2000b. Interactive effects of nutrients and contaminants from pulp mill effluents on riverine benthos. J. Aquat. Ecosyst. Stress Recov. 8: 67–75.

Dubé, M.G. et J.M. Culp. 1996. Growth responses of periphyton and chironomids exposed to biologically treated bleached kraft pulp mill effluent. Environ. Toxicol. Chem. 15: 2019–2027.

Dubé, M.G. et D.L. McLatchy. 2000. Endocrine responses of *Fundulus heteroclitus* to effluent from a bleached-kraft mill before and after installation of reverse osmosis treatment of a waste stream. Environ. Toxicol. Chem. 19: 2788–2796.

Environnement Canada. 1997. Fish monitoring, fish survey Section 5.1 technical guidance document for pulp and paper environmental effects monitoring. Environnement Canada, Ottawa, Ontario (ESEE/1997/7).

Environnement Canada. 1999. Réponse du Canada aux recommandations du neuvième rapport biennal de la Commission mixte internationale (www.on.ec.gc.ca/doc/ninth-ijc-response/dioxinfuran-e.html).

Environnement Canada. 2002. Guide pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique par les mines de métaux. Bureau national du ESEE., Direction de la politique scientifique et de la qualité de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa, Ontario (www.ec.gc.ca/eem).

Felder, D.P., S.J. D'Surney, J.H. Rodgers, Jr et T.L. Deardorff. 1998. A comprehensive environmental assessment of a receiving aquatic system near an unbleached kraft mill. Ecotoxicology 7: 313–324.

Glozier, N.E., J.M. Culp, T.B. Reynoldson, R.C. Bailey, R.B. Lowell et L. Trudel. 2002. Assessing metal mine effects using benthic invertebrates for Canada's Environmental Effects Program. Water Qual. Res. J. Can. 37: 251–278.

Gurevitch, J. et L.V. Hedges. 1993. Meta-analysis. Combining the results of independent experiments. Pages 347–369 dans S.M. Scheiner and J. Gurevitch (eds.), Design and analysis of ecological experiments. Oxford University Press, New York.

Hall, T.J., R.K. Halley et L.E. Lafleur. 1991. Effects of biologically treated kraft mill effluent on cold water stream productivity in experimental stream channels. Environ. Toxicol. Chem. 10: 1051–1060.

Hodson, P.V., K.R. Munkittrick, R. Stevens et A. Colodey. 1996. A tier-testing strategy for managing programs of environmental effects monitoring. Water Qual. Res. J. Can. 31: 215–224.

Kovacs, T.G., J.S. Gifford, L.A. Tremblay, B.I. O'Conner, P.H. Martel et R.H. Voss. 1995. The effects of a secondary-treated bleached kraft mill effluent on aquatic organisms as assessed by short-term and long-term laboratory tests. Ecotoxicol. Environ. Saf. 31: 7–22.

Lowell, R.B. et J.M. Culp. 1999. Cumulative effects of multiple effluent and low dissolved oxygen stressors on mayflies at cold temperatures. Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques. 56: 1624–1630.

Lowell, R.B. et J.M. Culp. 2002. Implications of sampling frequency for detecting temporal patterns during environmental effects monitoring. Water Qual. Res. J. Can. 37: 119–132.

Lowell, R.B., J.M. Culp et F.J. Wrona. 1995. Stimulation of increased short-term growth and development of mayflies by pulp mill effluent. Environ. Toxicol. Chem. 14: 1529–1541.

Lowell, R.B., J.M. Culp, F.J. Wrona et M.L. Bothwell. 1996. Effects of pulp mill effluent on benthic freshwater invertebrates: food availability and stimulation of increased growth and development. Pages 525–532 *dans* M.R. Servos, K.R. Munkittrick, J.H. Carey, and G.J. Van Der Kraak (eds.), Environmental fate and effects of pulp and paper mill effluents. St. Lucie, Delray Beach, Floride.

Lowell, R.B., J.M. Culp et M.G. Dubé. 2000. A weight-of-evidence approach for northern river risk assessment: integrating the effects of multiple stressors. Environ. Toxicol. Chem. 19: 1182–1190.

Lowell, R.B., K. Hedley et E. Porter. 2002. Data interpretation issues for Canada's Environmental Effects Monitoring Program. Water Qual. Res. J. Can. 37: 101–117.

Lowell, R.B., S.C. Riley, I.K. Ellis, E.L. Porter, J.C. Culp, L.C. Grapentine, M.E. MacMaster, K.R. Munkittrick et R.P. Scroggins. 2003. National Assessment of the Pulp and Paper Enviromental Effects Monitoring Data. Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ont.). Contriibution 03-521 de l'INRE.

McMaster, M.E., G.J. Van Der Kraak, C.B. Portt, K.R. Munkittrick, P.K. Sibley, I.R. Smith et D.G. Dixon. 1991. Changes in hepatic mixed-function oxygenase (MFO) activity, plasma steroid levels and age at maturity of a white sucker (*Catostomus commersoni*) population exposed to bleached kraft pulp mill effluent. Aquat. Toxicol. 21: 199–218.

Munkittrick, K.R. 2001. Assessment of the effects of endocrine disrupting substances in the Canadian environment. Water Qual. Res. J. Can. 36(2): 293–302.

Munkittrick, K.R., M.R. Servos, J.H. Carey et G.J. Van Der Kraak. 1997. Environmental impacts of pulp and paper wastewater: Evidence for a reduction in environmental effects at North American pulp mills since 1992. Water Sci. Technol. 35: 329–338.

Munkittrick, K.R., M.E. McMaster, L.H. McCarthy, M.R. Servos et G.J. Van Der Kraak. 1998. An overview of recent studies on the potential of pulp mill effluents to impact reproductive function in fish. J. Toxicol. Environ. Health, Part B, 1: 101–125.

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 1999. Canada. Pages 41–77 *dans* Environmental requirements for industrial permitting: Country profiles on the pulp and paper sector: Part 2. Groupe de travail sur la prévention et le contrôle de la pollution, Direction de l'environnement, OCDE.

Owens, J.W. 1991. The hazard assessment of pulp and paper effluents in the aquatic environment: A review. Environ. Toxicol. Chem. 10: 1511–1540.

Rosenberg, M.S., D.C. Adams et J. Gurevitch. 2000. MetaWin: Statistical software for meta-analysis. Version 2.0. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Servos, M.R., K.R. Munkittrick, J.H. Carey et G.J. Van Der Kraak (eds.). 1996. Environmental fate and effects of pulp and paper mill effluents. St. Lucie Press, Delray, Floride.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1998. Pulp and paper NESHAP: A plain English description. USEPA, Washington, D.C. (EPA-456/R-98-008).